

浮体式洋上風力発電設備の荷重予測（その3） 風・波・浮体動揺を考慮した荷重予測と検証

東京大学(研究当時) 正会員 ○林 岑蔚
東京大学 正会員 山口 敦
東京大学 正会員 石原 孟

1. はじめに

浮体式風力発電設備の支持物に作用する荷重は風・波・浮体動揺による影響を受ける。2020年度の全国大会で発表した当報告(その1)¹⁾ではダウンウィンド標準風車モデルを搭載した浮体式洋上風力発電設備のモデル化について説明し、今年度の(その2)では浮体のモデル化について説明した。本報告ではこれらの報告で構築したモデルを用いて数値シミュレーションにより浮体動揺を解析するとともに、支持構造物に作用する荷重を予測し、実測により検証するとともに、支持構造物に作用する荷重の成因を分析する。

2. 浮体式風力発電設備の応答解析と検証

本研究では浮体式風力発電支持構造物の荷重で最も重要となるタワーモーメントをタワー頂部と基部の2か所において解析により求め、実測データを用いて検証した。

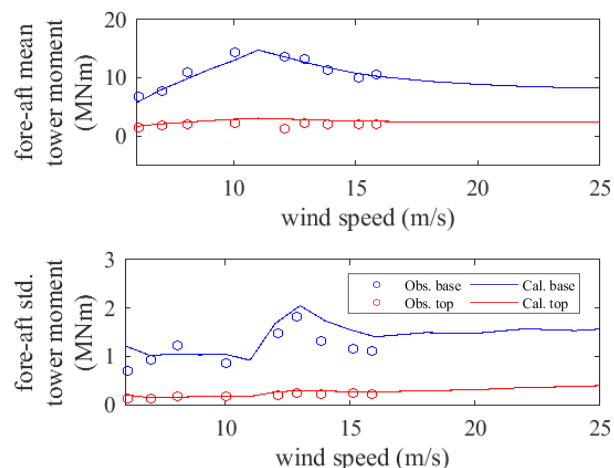


図1 風速の影響（上：平均値/下：標準偏差）

ピーク波周期 7.5s, 有義波高 1.75m の場合に風速を変化させてタワーモーメントを解析し、実測と比較した(図1). 平均成分・変動成分ともに風速に大きく依存し、タワー基部モーメントの平均値は定格風

速周辺で最大値を示す. また、シミュレーション結果は観測とよく一致している。

ピーク波周期 8.25s, 風速 9m/s の場合に有義波高を変化させてタワーモーメントを解析により評価し、実測と比較した(図2). 解析結果と観測結果はよく一致している。また、平均モーメントは有義波高に依存しないが、モーメントの変動成分は有義波高に依存し、波高が増大するにつれて変動モーメントが増大することがわかる。またタワー基部と比較してタワー頂部では波高の影響が少ないこともわかる。

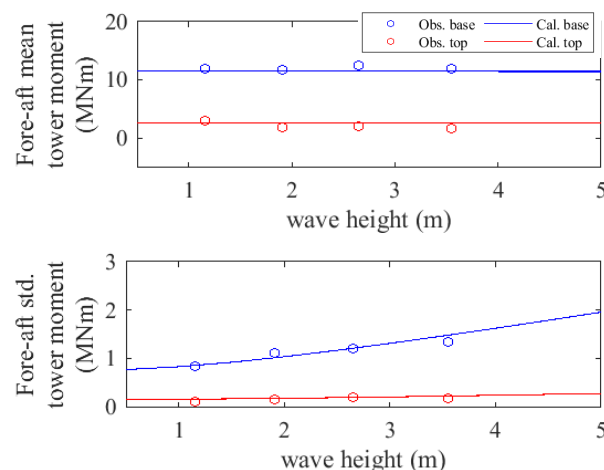


図2 有義波高の影響（上：平均値/下：標準偏差）

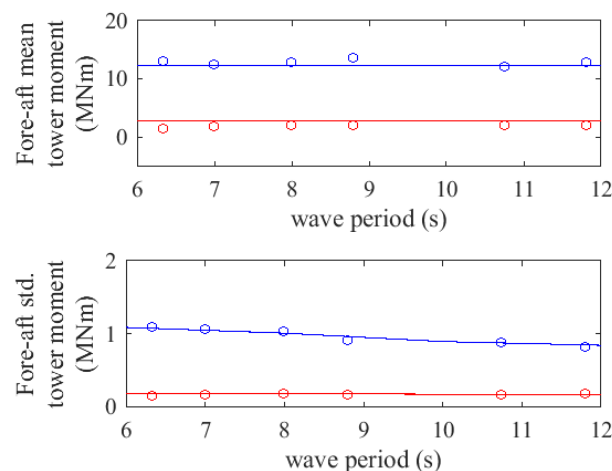


図3 波周期の影響（上：平均値/下：標準偏差）

有義波高 1.75m とし、風速 9.5m/s の場合にピーク

波周期を変化させてタワーモーメントを解析し、実測と比較したものを図3に示す。解析結果は実測とよく一致している。また、有義波高の場合と同様に平均モーメントはピーク周期に依存しないが、変動モーメントは依存する。また、ピーク周期が増大するにつれ、タワーモーメントの変動成分は低減する。これは、波高が同じ場合には、周期が短いほうが浮体の加速度が大きくなり、加速度に起因する慣性力によるモーメントが相対的に大きくなるためと考えられる。

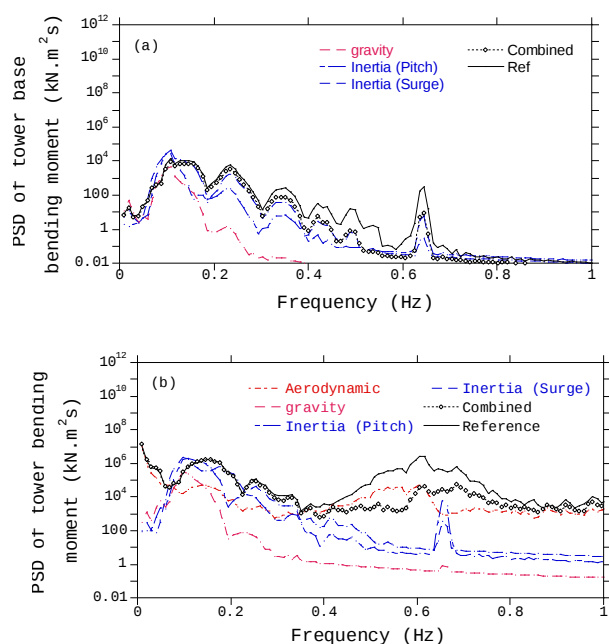


図4 前後方向タワー基部モーメントのパワースペクトル密度: (a)風車停止時; (b)風車停止時

3. 発電時のタワー荷重の成因

前節で述べたようにタワー基部モーメントは、浮体の加速度に起因する慣性力による成分がある。この成分はさらに浮体のピッチ運動に起因する成分およびサージ運動に起因する成分に分解できる。その他の変動モーメントの原因としては、浮体傾斜角の変動による重力、運転時の変動スラスト力が考えられる。これらの成分がどのように風車基部タワーモーメントに影響を与えているのかについて、運転時と停止時の例についてシミュレーション結果を用いて考察した。この場合の風車タワー基部モーメントの変動成分のパワースペクトル密度を図4の黒線で示す。また、変動スラスト力に起因する変動タワー基部モーメント、浮体傾斜時の重力に起因する変動タワー基部モーメント、浮体ピッチ運動の加速度に起因

する変動タワー基部モーメント、浮体サージ運動に起因する変動タワー基部モーメントをシミュレーション結果から求め、それぞれのパワースペクトル密度を図7の赤点線、赤鎖線、青一点鎖線、青鎖線で示す。またそれぞれの成分を時刻歴で合成したもののパワースペクトル密度を黒点線で示す。0.4Hz以下の低周波域では、合成したものは参照値にほぼ等しく、風車タワー基部モーメントはこれらの成因によって説明できることがわかる。0.4Hz以上の高周波域では、合成したものにはタワーの1次固有周期などの共振成分が含まれないため、運転時・停止時とも参照値と比較して小さくなっている。

5. まとめ

本研究では、浮体式洋上風力発電設備の動揺を解析し、支持構造物に作用する荷重を予測し、実測データを用いて検証し、以下の結論を得た。

1. タワー基部モーメントの平均荷重・変動荷重は風速によって大きく変動し、シミュレーション結果は観測とよく一致する。
2. タワー基部モーメントの平均荷重は波高・波周期には影響されない一方変動荷重は波高が増大するにつれ増大し、周期が増大するにつれ減少する。シミュレーション結果は観測とよく位置する。
3. タワー基部モーメントの変動成分は風車に作用するスラスト力の変動、浮体加速度による慣性力、浮体傾斜による重力によって説明できる。

謝辞

本研究は経済産業省の委託事業である福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業(Fukushima FOWarD)の一部として実施された。ここに記して関係者の皆様へ感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 山口敦・林岑蔚・石原孟, 浮体式洋上風車風力発電支持構造物の荷重予測(その1) 2MW ダウンウィンド標準風車モデルの作成と実測による検証, 土木学会第回年次学術講演会, 2020.